

Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior
Grau en Enginyeria de l'Edificació

Treball final de grau

**Estudi de la implantació de sistemes vegetats en l'envolupant del Centre
d'Interpretació del Montsec**

Autor: Ivan Salas Urrea
Director: Gabriel Pérez Luque
Maig 2012

Índex

1.Introducció.....	4
2.Objectius.....	5
2.1.Objectiu general.....	5
2.2.Objectius particulars.....	5
3.Metodologia de treball.....	5
4.Antecedents.....	5
4.1.Estat de l'art.....	5
4.1.1.Cobertes vegetals.....	6
4.1.1.1.Història.....	6
4.1.1.2.Classificació.....	7
4.1.1.3.Beneficis.....	9
4.1.1.3.a.Beneficis de les cobertes vegetals en a la gestió de les aigües pluvials.....	9
4.1.1.3.b.Beneficis de les cobertes vegetals sobre la reducció del canvi climàtic.....	11
4.1.1.3.c.Altres avantatges relacionats amb el rendiment tèrmic.....	15
4.1.1.4.Exemples:.....	16
4.1.2.Façanes vegetals.....	18
4.1.2.1.Història.....	18
4.1.2.2.Classificació.....	18
4.1.2.2.a.Murs vius.....	20
4.1.2.2.b.Cortines vegetals.....	27
4.1.2.3.Beneficis.....	30
4.1.2.3.a.Beneficis sobre la biodiversitat.....	31
4.1.2.3.b.Beneficis sobre la reducció del canvi climàtic.....	31
4.1.2.3.c.Beneficis estètics.....	32
4.1.2.3.d.Altres beneficis.....	32
4.2.Descripció de l'edifici.....	34
4.2.1.Estat actual.....	34
4.2.1.1.Criteris constructius i materials.....	34
4.2.1.2.Envolupant, compartimentació i acabats.....	35
4.2.1.3.Sistemes de l'envolupant exterior i compartimentació interior.....	36
4.3.Climatologia de la zona.....	41
5.Proposta.....	43
5.1.Coberta vegetal.....	43
5.1.1.Aspectes constructius inicials.....	43

5.1.2.Descripció de la solució adoptada.....	47
5.2.Façana vegetal.....	49
5.2.1.Aspectes constructius inicials.....	49
5.2.2.Descripció de la solució adoptada.....	51
6.Avaluació.....	52
6.1.Estat actual.....	52
6.1.1.Demanda Estat actual. LIDER.....	53
6.1.2.Demanda Estat actual. Energy Plus.....	55
6.2.Proposta.....	57
6.2.1.Desglossament de la proposta.....	60
6.2.1.1.Aplicació de coberta vegetal. Proposta parcial 1.....	60
6.2.1.2.Aplicació de façana vegetal. Proposta parcial 2.....	64
6.2.2.Comparativa entre proposta i estat actual modificat (cobertes + façana).....	67
7.Conclusions.....	70
8.Bibliografia.....	72
9.Referències.....	72
Índex de figures.....	76
Índex de gràfics.....	78
Annex 1. Documentació gràfica.....	79
Plànols Estat Actual.....	80
Plànols Proposta.....	81
Renders Proposta.....	82
Annex 2. Informe limitació demanda energètica estat actual	83

1. INTRODUCCIÓ

Actualment existeix una gran preocupació per l'optimització dels recursos energètics en gairebé tots els sectors econòmics de la societat. Aquesta preocupació ha aparegut a causa de la conscienciació col·lectiva de que els recursos energètics que s'estan consumint no són renovables, i de la necessitat creixent d'adoptar comportaments i formes de creixement econòmic que no comprometin tant el medi ambient. Conceptes com la sostenibilitat i les energies renovables estan en boca de tots ja que són conceptes que marquen la pauta a seguir per poder conciliar el creixement econòmic de la societat amb el respecte i manteniment del medi ambient.

Aquesta conscienciació també s'ha fet visible en el món de l'edificació, i els edificis que són projectats avui en dia intenten introduir solucions constructives, instal·lacions i equipaments que optimitzin el seu consum energètic.

Són nombrosos els estàndards que han aparegut en diferents països on es regula l'ús de les solucions constructives, les instal·lacions i equipaments, vetllant per a que els edificis que es vulguin acollir a qualsevol d'aquests estàndards compleixin uns requisits mínims.

El ventall de solucions constructives que milloren el comportament energètic dels edificis és ampli, i cada solució incideix sobre un factor determinat. A trets generals, les solucions van encaminades a reduir la despesa tant de calefacció com de refrigeració. El principal objectiu és aconseguir una temperatura de confort que sigui el menys variable al llarg de l'any, només considerant una petita oscil·lació tèrmica pròpia dels canvis estacionaris.

Durant anys, per aconseguir aquesta temperatura de confort s'ha recorregut a les instal·lacions de calefacció i refrigeració que gairebé tots els edificis tenen. I per fer ús d'aquestes instal·lacions es necessari un determinat consum energètic que pot variar sensiblement en funció del tipus de construcció de l'edifici. Per tant, és fàcil deduir que millorant el comportament tèrmic passiu dels edificis es reduirà notablement el consum energètic necessari per a que les instal·lacions de climatització proporcionin la temperatura de confort desitjada.

Cal incidir doncs en com es construeix, adaptant cada edifici a l'entorn on es construirà.

De solucions "passives" que milloren el comportament tèrmic de l'edifici n'hi ha moltes, tantes com gairebé països hi ha al món, ja que cada una està pensada per a un climatologia concreta i uns recursos materials determinats. A l'estat Espanyol la climatologia més habitual és un clima mediterrani típic, amb hiverns curts i estius llargs i calorosos. La incidència de la llum solar és alta, i depenent de la zona, és convenient protegir els edificis dels raigs solars.

Aquesta hipòtesis és la que es pretén desenvolupar en aquest projecte, la protecció dels edificis de la incidència solar directa per mitjà de solucions constructives que utilitzin elements de vegetació per a tal finalitat.

Els elements de vegetació utilitzats en els edificis han sofert una evolució des que van començar a ser utilitzats simplement com a elements decoratius o de paisatgisme. Avui en dia els elements de vegetació també són utilitzats com elements de protecció climàtica dels edificis, tenint així un paper més rellevant en el comportament dels mateixos. El seu ús s'ha integrat en les solucions constructives que defineixen l'envolupant dels edificis, convertint la seva pell, normalment pètria e inerta, en una pell viva i canviant que pot oferir protecció i donar a l'edifici una aparença més orgànica.

La utilització de vegetació en la pell dels edificis suposa una millora en el comportament tèrmic d'aquests, ja que crea una barrera natural que disminueix l'afectació dels fenòmens meteorològics sobre l'edifici. Els avantatges poden variar segons la solució emprada, però a trets generals, les millores es tradueixen en una reducció de la incidència solar sobre els murs exteriors de l'edifici, la creació d'una cambra intermèdia que afavoreix l'aïllament tèrmic de l'edifici, el refredament evaporatiu amb la conseqüent disminució de la temperatura i la protecció enfront l'acció del vent.

Els avantatges descrits repercuteixen directament sobre l'aïllament tèrmic de l'edifici, però també

cal considerar altres avantatges com l'aïllament acústic, la protecció dels materials constructius enfront a la degradació produïda pels raigs solars, i per últim, la millora visual dels edificis.

El factor visual que poden donar els elements de vegetació de l'envolupant de l'edifici no ha de ser menyspreat, ja que sovint abusem de la utilització de materials petris o metàl·lics que en conjunt donen una visió freda i industrial de l'entorn. En canvi, la incorporació de vegetació a la pell dels edificis genera una aparença més natural, oferint un entorn més agradable visualment, a més a més dels beneficis ambientals que genera.

2. OBJECTIUS

2.1. Objectiu general

Analitzar la repercussió que té en el comportament tèrmic d'un edifici en estudi la integració de sistemes constructius que incorporin vegetació en l'envolupant d'aquest (façana i coberta).

2.2. Objectius particulars

- Efectuar un estudi de la situació de les solucions vegetades en el mercat actual.
- Analitzar el comportament tèrmic d'un edifici en particular quan s'utilitzen cobertes vegetals i façanes vegetals.
- Comparar la solució original, sense vegetació, amb les hipotètiques solucions vegetades.

3. METODOLOGIA DE TREBALL

La metodologia d'aquest treball ha seguit la següent cronologia:

- Reflexió sobre les motivacions que porten al plantejament de solucions vegetades en l'envolupant dels edificis.
- Anàlisi de l'estat de l'art pel que fa a les solucions constructives que incorporin vegetació en l'envolupant dels edificis.
- Presentació de l'edifici objecte d'estudi.
- Anàlisi de la climatologia de l'entorn de l'edifici.
- Implementació de les solucions vegetades en l'envolupant de l'edifici objecte d'estudi, atenent al criteri de la major idoneïtat constructiva i eficiència tèrmica.
- Anàlisi del comportament tèrmic de l'estat actual de l'edifici.
- Anàlisi del comportament tèrmic de les propostes amb sistemes de vegetació.
- Comparativa dels resultats obtinguts.

4. ANTECEDENTS

4.1. Estat de l'art

La vegetació sempre ha estat un element important en l'arquitectura, no solament per satisfer una necessitat estètica, si no com a element essencial per determinar l'ambient físic immediat, ja sigui a mode de tanca, protecció visual, acústica, contra el vent, la pluja o el sol.

Amb freqüència trobem dins de l'arquitectura vernacle exemples de com l'home ha dissenyat el seu hàbitat creant un microclima en el seu entorn, utilitzant la vegetació per manipular els elements climàtics.

Tenint en conte això, en aquest apartat es presenta una relació dels diferents sistemes constructius que incorporen vegetació en l'envolupant dels edificis, tan en cobertes com en façanes, i s'exposen els orígens que, gracies a l'evolució de la tecnologia, han donat lloc a aquests sistemes constructius vegetats.

4.1.1. Cobertes vegetals

Les cobertes vegetals són un sistema constructiu molt semblant a les cobertes invertides, que en comptes de recórrer a l'habitual acabat de grava o paviment, utilitzen com a acabat una capa de terra o substrat vegetal apte per a cultivar-hi diverses espècies de plantes.

4.1.1.1. Història

El concepte d'incorporar cobertes vegetals a les edificacions es remunta al que coneixem com arquitectura vernacle en diverses parts del planeta. L'arquitectura vernacle es pot definir com l'arquitectura que ha estat projectada pels habitants d'una regió o un període històric determinat mitjançant el coneixement empíric, l'experiència de generacions anteriors i l'experimentació. Usualment, aquest tipus de construccions estan edificades amb materials disponibles en l'entorn immediat.

Els primers registres més representatius de cobertes vegetals els trobem a la regió que avui comprèn l'Iran i l'Iraq, durant els segles XXII a.c. i XXV a.c. Les construccions eren plataformes arbustives superposades que giraven sobre elles mateixes fins que adoptaven les quatre orientacions. S'anomenaven els *zigurats de Etemaki y Nammá* a Ur.

Aquestes construccions van ser la inspiració dels Jardins Penjants de Seriamiris, que el rei Nabudoconosor II va fer construir com a regal per a la seva esposa.^[1]



Figura 1: Pintura del segle XVI dels Jardins Penjants de Babilònia, per Martin Heemskerck [2]

A l'Àsia més oriental també es troba un exemple de cobertes vegetals fruit de l'arquitectura vernacle. Els anomenats "yaodong", o habitatges en túnels excavats en muntanyes, disposaven de vegetació silvestre que creixia a les seves cobertes. Més cap a l'Àsia central també existien els "kyatsu", refugis temporals d'hivern dels Kazakos, construïts amb parets de roca i sostre de troncs, fang i capes d'herba.^[1]

Tornant cap a Europa, als districtes rurals d'Ucraïna dominaven les construccions "burdei", que eren cases semi-enterrades cobertes amb capes de vegetació. Alguns habitants d'aquesta regió van emigrar cap a Amèrica. A causa d'això es poden trobar algunes mostres d'aquestes construccions al Canadà.^[1]

Als territoris escandinaus (avui Dinamarca, Noruega, Suècia) es localitzen les cobertes vegetals que han sobreviscut fins a l'actualitat. Són originaries dels campaments vikings ubicats a prop dels prats on aconseguien la matèria prima per construir-les. L'estructura de les cobertes varia en



Figura 2: Cases amb sostres i parets de torva a Núpsstaður, Islandia [3]

funció de la regió on es troben localitzades, ja que la disponibilitat de fusta no era constant en els territoris escandinaus. Així, tot i la varietat de sistemes estructurals, totes les cobertes tenen el mateix acabat de torba, ja que és la vegetació més abundant de la zona.

Aquest mateix ús de la torba se li va donar a Islàndia, on l'escassetat de fusta va provocar que els habitatges fossin construïts amb pedra, terra i torba.^[1]

Aquesta construcció tradicional dels països escandinaus va arribar a territoris nord-americans durant la colonització de la Columbia Britànica. Segons si la fusta escassejava o no, els habitatges temporals eren construïts excavant sota puigs petits o bé tot el refugi era construït amb blocs d'herba, estructura de fusta i acabat de fang. Actualment aquesta tècnica ha derivat en la construcció amb paques de palla.^[1]

Amb l'arribada de la revolució industrial van aparèixer nous materials com el formigó i els derivats del petroli, i amb ells els materials impermeabilitzants. Això va suposar una transformació en la forma de construir les cobertes dels edificis. Amb el formigó i els nous materials impermeabilitzants, res impedia la construcció de cobertes planes, aconseguint així un altre espai que es podia aprofitar.

Va ser el famós arquitecte Le Corbusier qui va promulgar les bondats de la combinació del suport de formigó armat, la impermeabilització flexible i el remat mitjançant una capa vegetal.^[1]

L'actual tecnologia de les cobertes vegetals comença a Alemanya, on al 1971, Gerda Gollwitzer i Werner Wirising van publicar un llibre titulat: "Áreas habitadas de los techos, transitables y cubiertas por vegetación". És en aquest llibre on neix el concepte modern de les cobertes vegetals. Actualment Alemanya és el país líder en aquest camp.^[1]

Alguns països europeus, incloent Alemanya, Suïssa, Holanda, Hongria, Suècia i el Regne Unit, tenen associacions que fomenten les cobertes vegetals. La ciutat de Linz, a Àustria, paga als constructors per a que instal·lin cobertes vegetals; a Suïssa hi ha una llei federal sobre cobertes vegetals; la Gran Bretanya va començar lentament però les polítiques sobre aquest tema han recuperat importància, especialment a Londres i Sheffield.^[4]

4.1.1.2. Classificació

Les cobertes vegetals es poden classificar segons el sistema constructiu que utilitzen o segons el tipus de substrat vegetal utilitzat.

En la primera classificació podem trobar bàsicament dos tipus de cobertes vegetals:

- Cobertes vegetals en aljub: Es tracta d'una solució molt semblant a la típica coberta catalana, on el substrat vegetal resta separat de la làmina impermeabilitzant per mitja d'un sistema de plots, creant una cambra d'aire ventilada que també pot ser utilitzada com a sistema d'emmagatzematge d'aigües pluvials. D'aquí ve la paraula aljub en el seu nom.

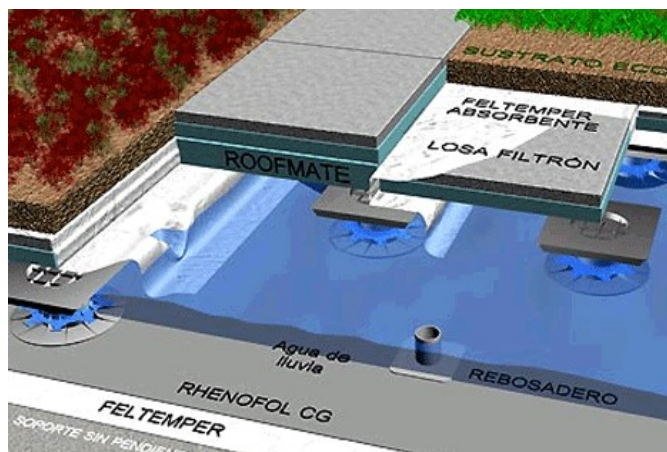


Figura 3: Sistema de coberta vegetal en aljub [5]

- Cobertes vegetals tradicionals: Són cobertes que poden ser del tipus invertit o calentes (segons la col·locació de la làmina impermeabilitzant) on a sobre de l'aïllament o làmina impermeabilitzant (segons el tipus) es col·loca una capa de substrat vegetal, protegint convenientment la resta de capes, que permet cobrir la coberta de vegetació.



Figura 4: Sistema de coberta vegetal invertida tradicional [6]

En la segona classificació podem trobar tres tipus de cobertes segons el tipus de vegetació utilitzada:

- Cobertes vegetals intensives: aquestes cobertes són de tipus transitable, el gruix del substrat és de 15cm com a mínim, necessiten un nivell de manteniment alt i la varietat d'espècies que s'hi poden cultivar és gran, anant des de gespa i arbusts fins a petits arbres.^[7]



Figura 5: Coberta vegetal intensiva [8]

- Cobertes vegetals extensives: són cobertes de tipus no transitable, el gruix del substrat no supera els 15cm, necessiten un manteniment mínim però la vegetació que s'hi pot cultivar està restringida a plantes entapissants o cobre-sòls.^[7]



Figura 6: Coberta vegetal extensiva. La vegetació utilitzada no requereix gairebé manteniment [9]

- Cobertes semi-intensives: aquestes cobertes tenen característiques dels dos tipus de cobertes anteriors.

4.1.1.3. Beneficis

Les cobertes vegetals han anat guanyant cada cop més difusió a través del temps. Aquesta acceptació ha portat no solament a dissenyar-les per al control climàtic i l'aspecte estètic, ja que segueixen tenint una sèrie d'avantatges que, de manera general, es poden resumir en els següents:

- Serveixen com a aïllament tèrmic. A l'hivern eviten la pèrdua de calor fins a un 50% i a l'estiu redueixen el consum d'aire condicionat fins a un 25%.
- Poden generar l'oxigen anual necessari per una persona solament amb 1,5m² de vegetació, reduint també l'efecte hivernacle.
- En períodes de pluja poden emmagatzemar del 70 al 90% de l'aigua, depenent del tipus de substrat i la vegetació emprada.
- Possibilita que torni la vida animal a les ciutats i es creïn microclimes.
- Es genera producció local d'aliments i plantes.
- Una coberta amb un substrat de 12cm pot reduir fins a 40 decibels.
- Tenen beneficis psicològics i estètics.

Dels avantatges descrits anteriorment n'hi ha que a causa de la seva rellevància mereixen que s'aprofundeixi en la seva descripció. Aquest avantatges poden suposar per si sols un element determinant en la decisió d'incorporar vegetació a la coberta dels edificis.

4.1.1.3.a. Beneficis de les cobertes vegetals en a la gestió de les aigües pluvials

A moltes parts del món està reconegut el fet de que les cobertes vegetals poden suposar un avantatge mediambiental pel que fa al drenatge sostenible de l'aigua, és a dir, la gestió de les aigües pluvials. Els sistemes de drenatge d'aigües pluvials que segueixen els principis del desenvolupament sostenible són agrupats al Regne Unit sota la denominació de Sistemes de Drenatge Sostenible (SUDS). Aquests sistemes estan dissenyats tant per gestionar els efectes adversos resultants de la recollida de les aigües residuals i pluvials urbanes, com per contribuir, en la mesura de les seves possibilitats, a la millora mediambiental.

Els objectius d'aquests sistemes de drenatge sostenibles són:

- Copiar els sistemes naturals de drenatge d'una forma similar.
- Controlar la quantitat i la qualitat de l'escorrentia de les àrees de desenvolupament urbà.
- Maximitzar la biodiversitat.

Històricament, la principal preocupació dels SUDS ha estat reduir el pic de la taxa d'escorrentia dels nuclis urbans. No obstant això, s'ha començat a considerar com a igualment important la reducció del volum total de l'agua procedent d'escorrenties.

Al voltant del 30-40% de les precipitacions són tant petites que no es pot mesurar la quantitat d'escorrentia que passa per una zona verda no urbanitzada, ja que la major part s'infiltra o s'evapora. En contrast, a les zones urbanes, cada precipitació genera escorrenties. A més a més, així com a les zones verdes no urbanitzades la pol·lució ambiental recollida per les aigües d'escorrentia es gestiona per mitjà de processos de filtració, en les zones urbanes aquesta pol·lució ambiental recollida per les aigües d'escorrentia pot acabar a les fonts d'aigües potables. Tenint en compte que la gestió de les aigües d'escorrentia per part de les zones naturals pot ser reproduïda artificialment, i que qualsevol sistema de drenatge sostenible (SUDS) està dissenyat per prevenir l'escorrentia generada per precipitacions per sobre de 5mm/m², les cobertes vegetals poden unir tots dos conceptes.

Un altre avantatge addicional de les cobertes vegetals rau en que la dimensió del clavegueram que recull les aigües pluvials pot reduir-se, ja que part de l'escorrentia es veu retinguda i disminuïda per les cobertes vegetals. Aquest fet pot ser significatiu en nuclis urbans densament poblats, on l'espai disponible per a la realització del sistema de clavegueram es veu reduït i limitat. En països com Alemanya, les cobertes vegetals són considerades una eina important per reduir els efectes adversos de les aigües d'escorrentia dels nuclis urbans.

Una investigació al Regne Unit (Kellagher and Lauchlan, 2005 ^[10], CIRIA, 2007^[11]) va indicar que les cobertes vegetals són efectives a l'hora de reduir el volum de l'agua d'escorrentia i els seus efectes en precipitacions poc importants, però va suggerir que aquests avantatges es veuen reduïts en precipitacions de llarga durada. Les cobertes vegetals redueixen el volum anual de l'agua d'escorrentia entre un 50 i un 85%, depenent del seu tipus de construcció. Una coberta vegetal seguirà reduint la taxa d'escorrentia encara que estigui completament saturada d'agua. El comportament d'una coberta vegetal davant les precipitacions depèn de la profunditat i el tipus de substrat que s'ha utilitzat (un substrat més gruixut pot emmagatzemar més aigua, reduint així l'escorrentia d'agua en precipitacions de llarga durada). Hi ha, no obstant això, un equilibri que s'ha de mantenir entre l'increment del gruix del substrat per la gestió de les aigües pluvials i els efectes que aquest increment de gruix pot tenir en altres aspectes com són la necessitat d'incrementar el suport estructural, la biodiversitat i els requeriments de reg.

Gestió de les aigües pluvials

Quan la pluja cau a sobre d'una coberta vegetal, l'agua es retinguda per les plantes i absorbida pel substrat d'una manera idèntica a com ho faria en un terreny natural. En la majoria de petites precipitacions, l'agua desapareix a causa de la evapotranspiració.

Les cobertes vegetals influeixen en les aigües d'escorrentia de la següent manera:

- Interceptant i retenint l'agua d'escorrentia en la primera part de la precipitació.
- Limitant el pic d'acumulació d'aigües d'escorrentia en precipitacions de llarga durada.

El procés de funcionament d'una coberta vegetal és el següent:

- Retenció de l'agua de pluja al substrat, lamines drenants i plantes.
- Captació i alliberament de l'agua per les plantes com a vapor (evapotranspiració).
- Captació d'agua i incorporació bioquímica a les plantes (fotosíntesis).

- Evaporació en el substrat i el fullatge.

Eliminació de la pol·lució provinent de les aigües pluvials

L'aigua de pluja provinent de l'escorrentia de les cobertes dels edificis pot estar contaminada (per exemple, excrements d'ocells o pol·lució atmosfèrica), i un aspecte important dels sistemes de drenatge sostenible és eliminar aquesta contaminació. Les cobertes vegetals retenen contaminants com la pols o contaminants suspesos o dissolts en l'aigua de pluja. Es considera que el 95% de metalls pesants poden ser eliminats de les aigües d'escorrentia per mitjà de les cobertes vegetals i els nivells de nitrogen poden ser reduïts. Auckland Regional Council (2003)^[12] va informar que les cobertes vegetals poden eliminar el 75% del total de partícules en suspensió. El departament de protecció mediambiental de Pensilvania (2004)^[13], va recomanar que si la millora de la qualitat de l'aigua és un factor important per al disseny d'una coberta vegetal, és necessari la utilització d'un substrat 100% mineral. Això minimitza el risc de filtració de contaminants a fora del substrat. També recomana aplicar el fertilitzant només durant el període d'establiment de les plantes i durant el menor temps possible per evitar que la coberta vegetal pugui ser font de partícules contaminants. Es considera que es necessiten 5 anys per a que una coberta vegetal pugui arribar a ser totalment eficient a l'hora d'eliminar la pol·lució.

Alguns estudis^[14] han provat que l'eliminació dels contaminants es variable. Els factors més importants que afecten a l'eliminació de contaminants són els següents:

- La naturalesa del substrat i el contingut que té de matèria orgànica.
- El tipus de plantes i el temps que aquestes romanen en el substrat.
- El tipus de manteniment (per exemple, la aplicació de fertilitzants o no).

A mode de resum, els avantatges que les cobertes vegetals aporten en la gestió de les aigües pluvials són els següents:

- Les cobertes vegetals són components ideals per als sistemes de gestió sostenible de l'aigua, contribuint als objectius dels SUDS (sustainable drainage system):
 - Reproduir el drenatge dels terrenys naturals de la manera més exacta.
 - Controlar la quantitat i la qualitat de l'aigua d'escorrentia generada en les zones urbanes.
- Les cobertes vegetals poden:
 - Reduir el volum anual d'aigua d'escorrentia entre un 50 i 85% i prevenir l'escorrentia. d'aigües en les primeres fases de les precipitacions, es a dir, efectuen una tasca de retenció de les aigües pluvials.
 - Disminuir el pic màxim de flux d'aigua d'escorrentia. Aquest efecte es veu reduït en precipitacions de llarga durada.
- Utilitzant cobertes vegetals, les xarxes de recollida d'aigües pluvials de les zones urbanes poden reduir-se, necessitant menys espai i estalviant en materials.
- Les cobertes vegetals retenen i filtren partícules contaminants que es troben en les superfícies de les zones urbanes.
- Les cobertes vegetals han demostrat poder reduir en un 95% la presència de metalls pesants en les aigües d'escorrentia i també els nivells de nitrogen.

4.1.1.3.b. Beneficis de les cobertes vegetals sobre la reducció del canvi climàtic

En les passades 5 dècades hi ha hagut un augment de la temperatura d'aproximadament 0,4°C a la superfície de la terra. Està acceptat que la principal causa d'aquest augment de la temperatura són els gasos d'efecte hivernacle emesos a l'atmosfera com a conseqüència de l'activitat industrial de l'ésser humà, principalment l'emissió de diòxid de carboni.

A grans trets, hi ha dos tipus de maneres d'afrontar el canvi climàtic:

- Reduir les emissions dels gasos d'efecte hivernacle amb la finalitat de tornar a la temperatura natural de la terra

- Adaptar-se per fer front als canvis que produiran els gasos d'efecte hivernacle

Les cobertes vegetals poden beneficiar tant el comportament tèrmic dels edificis on es trobin instal·lades, com el medi ambient en general. A causa de que les conseqüències del canvi climàtic es van agreujant i cada dia s'entén més el seu comportament, i com que l'eficiència energètica s'està convertint en un aspecte integral en el disseny d'edificis, els professionals de la construcció hauran de buscar formes per adaptar els edificis del futur a les creixents exigències climàtiques, com són la millora de l'aïllament, de la massa tèrmica i la reducció de l'efecte "illa de calor" de les zones urbanes.

Les cobertes vegetals tenen una significativa massa tèrmica, un aïllament tèrmic moderat i un efecte refrigerador per mitjà de la evapotranspiració. Aquestes propietats redueixen significativament el rang de temperatures diàries entre la coberta vegetal i l'estructura de l'edifici.

Aïllament tèrmic

L'aïllament tèrmic provocat per una coberta vegetal es presentat molts cops com el seu principal avantatge. Una coberta vegetal pot ser efectiva proveint aïllament i massa tèrmica a estructures lleugeres que tenen poc o cap aïllament, com poden ser garatges, naus industrials, edificis temporals i edificis amb cobertes planes.

Segons un servei de gestió d'edificis de Londres, la instal·lació d'una coberta vegetal adaptada en un edifici va reduir la necessitat de calefacció i refrigeració en el pis situat a sota de la coberta. Des de que la coberta vegetal va ser instal·lada, les bombes de calefacció/refrigeració no es van tornar a utilitzar i això va suposar un estalvi de 26 MW/h a l'any. Aplicant la tarificació elèctrica, això suposa un estalvi d'aproximadament 5.000€/any (assumint 0,16 €/kWh). Un fabricant alemany de cobertes vegetals va estimar que les cobertes vegetals poden contribuir a reduir la despesa de gasoil destinat a calefacció en 2 litres/m² de superfície a l'any a Alemanya.^[15]

És poc probable que la reducció de consum energètic que s'ha mencionat al paràgraf anterior pugui ser reproduïda als edificis d'obra nova construïts segons la nova normativa del CTE del 2006. Això és degut a que els gruixos d'aïllament que exigeix aquesta nova normativa assegura l'aïllament de les estances interiors de l'edifici davant les exigències climàtiques de l'exterior. En els edificis construïts segons la normativa del CTE, la quantitat d'energia perduda a través de la coberta és molt petita comparada amb els edificis anteriors a aquesta normativa.

La norma que regulava les condicions tèrmiques dels edificis abans de l'entrada del CTE era la NBE-CT-79. En aquesta norma, la taula 2 de l'article 5 establia els valors dels coeficients de transmissió tèrmica (k) dels tancaments dels edificis en funció d'un mapa de zonificació climàtica. Comparant el coeficient de transmissió tèrmica que s'exigeix a les dues normatives, CTE i NBE-CT-79, per a un edifici situat a la ciutat de Lleida, el coeficient de transmissió tèrmica (U) per a les cobertes és de 0,38 W/m²k en el cas del CTE ^[16] i de 0,9 W/m²k en el cas de NBE-CT-79 ^[17]. Com s'observa, la nova normativa del CTE té unes exigències molt superiors pel que fa a les condicions d'aïllament dels edificis, i per tant, es fa imprescindible la utilització de determinats gruixos d'aïllament per garantir el compliment de la normativa.

En un habitatge estudiat a Atenes, Grècia, durant el període estival, l'estalvi energètic provocat per la instal·lació d'una coberta vegetal en una coberta amb un valor inicial de U de 0,4 W/m²K va ser de només un 2%^[15]. Això mostra que el comportament tèrmic de l'aïllament a la coberta existent és massa eficient per a que la utilització d'una coberta vegetal produeixi beneficis significatius.

La coberta vegetal no ha de ser utilitzada per a reduir la capa d'aïllament dels edificis. La coberta vegetal ha de ser considerada com un afegit a la capa d'aïllament plantejada en la fase de disseny, no com un substitutiu. Les cobertes vegetals tenen un factor d'aïllament tèrmic negligible en els edificis construïts a partir de la nova normativa tècnica del CTE. La remodelació d'una coberta existent per a convertir-la en una coberta vegetal és el moment ideal per a introduir més

aïllament sota la làmina impermeabilitzant, o bé per crear una coberta invertida on la coberta vegetal proporciona el pes necessari per a fixar la capa d'aïllament ubicada a sobre de la làmina impermeabilitzant. En els edificis on la coberta vegetal es utilitzada com una coberta invertida, es menys probable que es produeixi un pont tèrmic entre les juntes de les planxes d'aïllament. Això es degut a la reducció del gradient de temperatura en una coberta vegetal, si ho comparem amb els acabats convencionals com la grava o paviments de lloses.

Reducció de la fluctuació diària de la temperatura

Típicament la coberta d'un edifici s'escalfa durant el dia i es refreda durant la nit. El rang diürn de temperatures és la diferència entre la mínima i màxima temperatura mesurades durant un període de 24 hores.

El rang diürn de temperatures de la làmina impermeabilitzant en una coberta calenta convencional pot ser molt gran. Les cobertes convencionals, especialment les que utilitzen una làmina impermeabilitzant bituminosa, típicament de color negre, absorbeixen una gran part de la radiació solar i es poden escalfar considerablement durant el dia. Per exemple, la temperatura de la cara superior d'una làmina impermeabilitzant bituminosa pot excedir dels 35°C durant un dia d'estiu, mentre que durant la nit pot arribar als 0°C. Una coberta amb poc gruix d'aïllament a sota de la làmina impermeabilitzant permetrà que la temperatura de l'espai de sota de la coberta augmenti, especialment durant l'estiu, provocant que l'ambient interior de l'edifici no sigui confortable. L'excés de temperatura a dins de l'habitatge provoca un augment de l'ús dels aires condicionats, que provoquen un augment en el consum d'energia. Durant el període hivernal, succeeix el contrari, suposant un excés en la demanda de calefacció, i per tant, un augment en el consum d'energia.

Al contrari que les cobertes convencionals, les cobertes vegetals són un sistema viu que reacciona amb el medi ambient de diferents formes:

- L'evapotranspiració de les plantes i el substrat suposa un consum considerable de la radiació solar si ho comparem amb una coberta convencional
- Les cobertes vegetals tenen una important massa tèrmica que emmagatzema l'energia solar i retarda la transferència de calor cap a la base de suport o des de la base de suport.
- Les plantes absorbeixen la radiació solar en efectuar la fotosíntesis
- Les plantes tenen un factor de reflexió de la radiació solar elevat en comparació amb les cobertes tradicionals

El rang diürn de temperatures de la làmina impermeabilitzant d'una coberta vegetal es molt menor que en una coberta convencional; gairebé sempre està per sobre de 10°C durant l'estiu en el cas d'una coberta vegetal extensiva. El rang diürn de temperatures es redueix segons es va augmentant el gruix de la capa de substrat. La coberta vegetal protegeix la làmina impermeabilitzant tant dels canvis de temperatura com dels rajos ultraviolats. També cal destacar que protegeix la làmina davant del punxonament, que es pot produir durant les tasques de manteniment, per exemple. Tots aquests factors contribueixen a allargar la vida útil de la làmina impermeabilitzant.

Reducció de l'efecte "illa de calor" a les zones urbanes

Les zones urbanes tenen unes temperatures mitjanes més altes que les zones rurals. Aquesta diferència de temperatures s'anomena "efecte illa de calor". S'està generant una conscienciació en la gent sobre l'increment de temperatures a les zones urbanes, i com aquest increment de temperatures es pot veure agreujat a causa del canvi climàtic en un futur pròxim. Un major efecte illa de calor pot provocar un augment de la contaminació ambiental en les ciutats i un augment de l'ús dels aires condicionats.

La causa del efecte illa de calor és una complexa combinació de factors que inclouen els següents:

- Reducció de les superfícies d'evaporació – mes energia es torna en calor sensible i menys en calor latent
- Les qualitats tèrmiques dels materials – increment de l'emmagatzemament del calor sensible als edificis de fàbrica de totxo
- Calor antropogènica alliberada – provinent de la combustió d'hidrocarburs i el metabolisme de persones i animals
- Efecte de canó radioactiu – disminució de la radiació d'ona llarga perduda en el cel i que es queda retinguda en les zones urbanes a causa de l'intercanvi de radiació entre els gratacels, especialment si estan ubicats en carrers estrets (també coneguts com canons) i la reducció del factor de reflexió a causa dels múltiples reflexes d'ona curta entre les superfícies dels edificis
- L'efecte hivernacle en les zones urbanes – augment de la radiació d'ones llargues que són reflectides per l'atmosfera calenta i contaminada de les ciutats
- Reducció de la transferència de calor turbulent – la transferència de calor a l'aire es redueix a causa de la reducció de l'aire turbulent als carrers

Hi ha dos mètodes àmpliament reconeguts i documentats per a combatre l'efecte illa de calor. El primer consisteix en introduir més vegetació en les zones urbanes per provocar més ombreig i refrigeració a través de la evapotranspiració, i el segon consisteix en augmentar la reflexió de les cobertes. Les cobertes es poden cobrir amb colors més clars o materials reflexius que puguin reflectir una major proporció de la radiació solar que reben cap al cel, i per tant, produir menys calor sensible.

Les cobertes vegetals combinen aquestes dues maneres d'enfocar el problema de l'illa de calor, i per això s'estan establint cada cop més als E.E.U.U. com a sistema per a reduir l'efecte illa de calor. No obstant això, també s'ha reconegut que per a obtenir un efecte considerable, cal que la proporció de cobertes vegetals en les zones urbanes sigui gran.

S'ha comprovat que les cobertes vegetals tenen un factor de reflexió entre 0,7 i 0,85, depenent de la disponibilitat d'aigua per efectuar la evapotranspiració, que és un factor similar al dels materials amb més reflexivitat. El manteniment que cal efectuar en les superfícies dels materials convencionals amb una reflexivitat alta, com la neteja periòdica, no és requerit en les cobertes vegetals.^[18]

El refredament per evaporació en les cobertes vegetals funciona per mitjà de l'increment de la humitat i la reducció de l'energia disponible per efectuar la conversió en calor sensible. Els estius llargs i secs suposen una reducció de la taxa real d'evapotranspiració si ho comparem amb la taxa teòrica d'evapotranspiració. En les circumstàncies més extremes, on no hi ha un substrat humit, i per tant, hi ha poca evapotranspiració, la vegetació pot patir estrès a causa de la sequera i pot acabar morint.

Les cobertes vegetals humides afronten aquest problema per mitjà de la seva naturalesa, però les cobertes vegetals que estan pensades principalment per millorar la climatologia de la zona on estan construïdes, necessiten que la humitat del sòl es mantingui als nivells que permetin efectuar l'evapotranspiració de manera òptima. Per a aquests tipus de cobertes es provable que sigui necessari algun tipus de reg periòdic per mantenir el nivell d'humitat òptim. Això pot semblar una contradicció a la idea de reduir el consum energètic per mitjà de les cobertes vegetals. No obstant, l'energia continguda en l'aigua potable es baixa comparada amb l'energia procedent de la radiació solar que es convertida en calor latent per mitjà de l'evapotranspiració.

L'ús de sistemes de reg comporta despeses addicionals en equipaments, instal·lacions, manteniment, etc. Una altra manera de mantenir la humitat del substrat passa per augmentar el gruix del mateix substrat i incloure sistemes de retenció de l'aigua en la coberta vegetal.

Un estudi realitzat a Toronto^[19] estima que la implementació a gran escala de les cobertes vegetals a les ciutats pot reduir entre 0,5 – 2°C les temperatures, reduint així la necessitat d'ús d'aires condicionats i la pol·lució associada a l'efecte illa de calor de les ciutats.

4.1.1.3.c. Altres avantatges relacionats amb el rendiment tèrmic

Les cobertes vegetals poden ser utilitzades de múltiples formes per estalviar energia aprofitant els beneficis de l'evapotranspiració. La companyia Possman Cider, ubicada a Frankfurt, Alemanya, utilitza un tipus de coberta vegetal humida que recull i emmagatzema l'aigua de pluja que posteriorment és utilitzada per refrigerar el procés de fermentació de la sidra. L'aigua de pluja es recicla bombejant-la de nou cap a la coberta per refredar l'edifici i per al seu posterior ús. L'estalvi anual en refrigeració es xifra en 4.700 €, i també hi ha un estalvi en costos de gestió i drenatge de les aigües pluvials.^[20]

Les cobertes vegetals poden millorar el rendiment dels panells fotovoltaics utilitzats per convertir la llum solar en electricitat. Aquests panells perden eficiència quan s'escalfen excessivament a causa de la radiació solar. Un estudi realitzat a Alemanya ha demostrat que col·locant panells fotovoltaics en cobertes vegetals, aquests milloren la seva eficiència, ja que l'evapotranspiració realitzada per la coberta vegetal redueix la temperatura dels panells. A més a més, la coberta vegetal pot ser utilitzada com a sistema de llast barat per als suports dels panells, evitant així el problema de la perforació de la làmina impermeabilitzant a l'hora de fixar els panells a la base de suport de la coberta.^[15]

Combatre "l'efecte illa de calor" és una altra raó important per a construir cobertes vegetals. Els edificis tradicionals absorbeixen la radiació solar i després la retornen en forma de calor, fent que les ciutats tinguin temperatures com a mínim 4°C més altes que zones circumdants.

Les ciutats tenen grans superfícies d'asfalt i altres materials foscos que tenen una baixa reflexivitat, donant lloc a l'absorció de calor radiant del sol i re-radiació en la nit. Les cobertes tradicionals de grava poden estar fins a 21°C més calentes que les cobertes amb vegetació. La vegetació té una reflexivitat més gran que la majoria de materials de construcció, i a més, proporciona refrigeració a través de l'evapotranspiració.

A més, els espais verds i les cobertes vegetades contribueixen a la barreja vertical de l'aire, de manera que la temperatura per sobre d'elles tendeix a ser menor que la de les zones circumdants construïdes. L'aire calent s'eleva per sobre de les superfícies dures i es substitueix per aquest aire fresc, reduint així l'efecte illa de calor.

4.1.1.4. Exemples:



Figura 7: Coberta vegetal del "School of Art and Media" de la universitat de Nanyang a Singapur [21]



Figura 8: Coberta vegetal del zoo de Berlín [22]



Figura 9: Cobertes vegetals de les zones costeres de Noruega [23]



Figura 10: Cobertes vegetal de les zones rurals de Noruega [23]



Figura 11: Coberta del Chicago City Hall [24]



Figura 12: Coberta vegetal del centre de convencions de Vancouver [25]



Figura 13: Vista de les cobertes vegetals de Stuttgart, Alemanya [26]

4.1.2. Façanes vegetals

Les façanes d'un edifici suposen molta més superfície d'envolupant que les cobertes, a més de ser la part visible de l'edifici a peu de carrer. Molts cops aquestes façanes no són massa atractives o no tenen cap element singular distintiu. Utilitzant plantes per a crear façanes vegetals s'aconsegueix una façana amb més vistositat, i l'hora també s'obtenen beneficis en la biodiversitat de les zones urbanes, l'eficiència tèrmica dels edificis i la reducció del canvi climàtic a través de la reducció de la pol·lució, i tot això sense que suposi la utilització de més sòl.

4.1.2.1. Història

La pràctica de cobrir els murs amb plantes enfiladisses té una antiguitat de segles. Els primers registres que es tenen es localitzen a Itàlia i centre Europa, on la vinya, una planta que ajudada per l'home és capaç d'enfilarse a pèrgoles, proporcionava fruits per a l'elaboració del vi en un espai molt reduït.

Aquesta pràctica es va estendre i va fer que una gran quantitat d'espècies, entre elles certs tipus de tomàquets (cherry), també s'obtinguessin en espais reduïts.^[27]



Figura 14: Parra enfilada a sobre d'una pèrgola metàl·lica [28]

Pèrgoles i estructures d'entramats, amb vinyes que creixien aferrades a elles, es van difondre per tota la cultura mediterrània i van proporcionar un espai protegit del sol a les terrasses.

Això no solament proporcionava aliment, sinó que la seva ombra i la cobertura del mur feien d'aquests espais àrees més habitables a l'estiu.

El gran desenvolupament de la indústria vinícola va estendre aquesta pràctica, allà per l'edat mitjana, a França i Anglaterra, i va ser utilitzada als castells dels propietaris de vins i a la Campinya Anglesa.^[27]

La idea de cobrir els murs dels castells i cases senyorials es va popularitzar com mai abans ho havia fet, amb el desenvolupament a principis del segle XX de la "ciutat jardí" dels utopistes. Des de llavors, la idea de cobrir els murs amb vegetació s'ha acceptat com un element que dona prestigi a la façana.^[27]

A tota la costa mediterrània les plantes enfiladisses més utilitzades són les vinyes, les glicines, els lligabosc i els gessamins. A Anglaterra, en canvi, les més utilitzades són la parra de Virginia o Boston, la Parthenocissus tricuspidata o ficus enfiladís i la tradicional heura anglesa o aràlia que forma un entapissat verd a sobre dels murs.^[27]

4.1.2.2. Classificació

Existeixen molts sistemes constructius destinats a cobrir de vegetació les façanes dels edificis, però si atenem a l'essència de tots aquest sistemes es pot apreciar que principalment hi ha dues tipologies de façanes vegetals: les façanes que utilitzen una sub-estructura per a proveir de suport a les plantes enfiladisses, anomenades cortines vegetals (*green facades*), i les façanes que utilitzen panells autoportants que en el seu interior contenen el substrat necessari per al creixement de determinades plantes, anomenades murs vius (*living walls*).

En el cas de les façanes o cortines vegetades, les plantes utilitzades són plantes enfiladisses, com l'heura, que a mesura que van creixent van cobrint la totalitat de la façana. Aquestes plantes acostumen a ser caduques, de manera que a l'hivern deixen lliure la façana per a que es puguin aprofitar al màxim els raigs solars, i a l'estiu la cobreixen d'un mantell vegetal que mitiga la incidència solar a la façana i obertures. Aquest tipus de façana vegetal pot ser tractada com un afegit a la mateixa façana, ja que es pot instal·lar en edificis ja construïts sense una complicació excessiva.

En el segon cas, en els murs vius, s'utilitzen plantes que no tenen problemes per créixer en horitzontal i que s'adapten a la climatologia de la zona. Aquest sistema de mur vegetat cal entendre'l com un sistema constructiu de façana en el seu conjunt, ja que els panells afegeixen un gruix addicional al tancament base de façana, al que van fixats directament o a través d'una sub-estructura. Els panells, en portar incorporat el substrat, augmenten la massa tèrmica del tancament de façana de manera considerable, i per tant, ofereixen unes condicions superiors d'aïllament tèrmic si ho comparem amb les cortines vegetals.

En les façanes o cortines vegetals, el grau de cobriment de la façana sempre vindrà determinat per l'elecció de creixement que faci la pròpia planta utilitzada. És un sistema basat en dotar a la façana de l'edifici de totes les facilitats possibles per a que el creixement de la planta enfiladissa sigui òptim i pugui cobrir fàcilment tota la superfície de façana. No obstant això, no es pot garantir que la planta utilitzi tots els recursos que té a disposició per a cobrir la façana en la seva totalitat. La planta enfiladissa és un ésser viu que segueix uns criteris de creixement, com el seguiment de la llum solar, que s'han de tenir en compte a l'hora de dissenyar l'estructura que li ha de fer de suport.

En el cas dels murs vegetals, es pot dir que són un tipus de solució vegetada més evolucionada tecnològicament, on s'ha buscat reduir els factors que escapen al control de l'home. Cada panell disposa de les mateixes condicions de sòl i aigua per a que el creixement de les plantes sigui el més uniformement possible. Aquesta industrialització de la façana vegetal suposa una garantia d'homogeneïtzació visual del resultat final de façana, a més de tenir l'avantatge de que en ser un sistema modular, si alguna zona de la façana no dóna el resultat buscat, es pot retirar, observar el problema, buscar una solució i substituir els panells afectats.

Els avantatges i inconvenients de les cortines vegetals i dels murs vius són inherents a la seva naturalesa i han de ser estudiats i analitzats per a cada edifici en particular. Només d'aquesta manera s'aconseguirà un resultat òptim que uneixi els factors econòmics, tècnics i visuals en una sola solució constructiva.

Com ja s'ha comentat en paràgrafs anteriors, de sistemes per a cobrir de vegetació les façanes dels edificis n'hi ha molts, però tots ells es poden classificar segons si pertanyen al grup de les cortines vegetals (green facades) o al grup dels murs vius (living walls). A continuació es presenta una relació dels sistemes constructius per a cortines vegetals i murs vius més coneguts.

4.1.2.2.a. Murs vius

Sistema Green Living Technologies

Empresa: Green Living Technologies International, LLC (GLTi)

Web: www.agreenroof.com

Descripció: El sistema "Green living technologies" està format per panells modulars de diferents mesures que es poden obtenir en alumini o acer inoxidable. Aquesta tecnologia utilitza diferents mesures de panells i panells especials per als remats de les cantonades. Aquesta varietat de panells permet al sistema executar formes més complexes amb major resolució que altres sistemes de panells modulars.

El sistema de plantació és senzill, el substrat es troba compactat a les cel·les dels panells i les espècies vegetals es planten mentre el panell roman en posició horitzontal. El sistema de reg per goteig es situa entre els panells, l'aigua dreña a través de tota la façana i es recull en la part inferior.



Figura 15: Panells modulars del sistema Green Living Technologies [29]

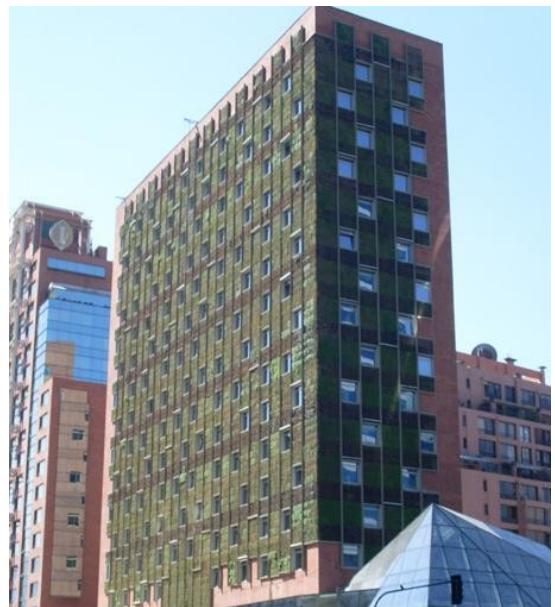


Figura 16: Edifici amb façana vegetal mitjançant panells modulars Green Living [30]



Figura 17: Façana vegetal a centre comercial de Huntsville, Alabama (EEUU) [31]

Mur Végétaux

Empresa/autor: Patrick Blanc

Web: www.verticalgardenpatrickblanc.com

Descripció: El mur vegetal de Patrick Blanc consisteix en la superposició de diferents elements que garanteixen el creixement i la fixació a llarg termini de les arrels de les plantes, i tot això sobre una superfície, no sobre un volum, al contrari dels mètodes de cultiu. La patent de Patrick Bank es basa, doncs, en aquesta nova tècnica de cultura vertical que permet eliminar els problemes de pes del substrat, i per tant, assegurar la vegetaltització de les superfícies dels edificis, sigui quina sigui la seva altura.

Segons aquesta solució tècnica, es grapen dues capes de feltre de poliamida sobre unes planxes de pvc expandit de 10 mm de gruix (suport estanc) i es fixen sobre una estructura metàl·lica que assegura l'aïllament (coixí d'aire) amb el mur "portador". Sobre aquest feltre, de gran capil·laritat i retenció d'aigua, es on es desenvolupen les arrels de les plantes. Aquestes s'instal·len en totes les alçades del mur, amb una densitat del ordre de 20 plantes per metre quadrat. El reg s'efectua a partir de un conjunt de tubs foradats regularment, superposats a partir del cim del mur vegetal. El sistema està programat per electrovàlvules acoblades a un distribuïdor de solució nutritiva poc concentrada. La simplicitat d'aquesta tècnica va unida a la seva fiabilitat a llarg plaç. El manteniment és baix ja que les males herbes no son capaces d'envair aquestes superfícies verticals. Es preveu també una poda anual dels arbusts.



Figura 18: Mur végétal al centre comercial Les Quatre Temps a La Defense, París [32]



Figura 19: Mur végétal a l'edifici Caixaforum a Madrid [32]



Figura 20: Mur végétal a l'edifici Caixaforum a Madrid [32]

Sistema Fachada natura aljibe

Empresa: Intemper

Web: www.intemper.com

Descripció: Sistema modular de vegetació de parament vertical format per tot un seguit de plafons de 60x60 cm i de 6 mm de gruix, a l'interior dels quals es disposa el substrat especial en el que es cultiven plantes aptes per a ser dipositades en posició vertical.

Els components d'aquest sistema són els següents:

- Tancament metàl·lic: pot ser de xapa galvanitzada, lacada o d'alumini amb perforacions circulars. Per la part posterior es pot afegir l'aïllament tèrmic.
- Feltemper: feltre sintètic de fibres de polièster. Reté el substrat per tal d'evitar pèrdues en ser col·locat verticalment, a la vegada que facilita la difusió de l'aigua per capil·laritat en la totalitat del substrat.
- Substrat: posseeix unes propietats físiques i químiques especials imprescindibles per al correcte funcionament del sistema.
- Plantació: espècies vegetals seleccionades en funció de la orientació del mur i de la zona climàtica. La densitat de plantació és de 100 unitats per plafó, unes 300 u/m².
- Reg: és imprescindible la instal·lació d'un sistema de reg automàtic i de fertirrigació per aportar nutrients a les plantes.



Figura 21: Façana vegetal del centre cultural de Moreda (Aller) [33]

La col·locació dels plafons es duu a terme un cop han arrelat i crescut les plantes, per això són necessaris tres mesos previs de cultiu.



Figura 22: Mur vegetal a la Plaza del Pericón, Malaga [34]

Sistema Elt Easy Green Living Wall Panel

Empresa: Elevated Landscape Technologies

Web: www.eltlivingwalls.com

Descripció: Sistema de vegetació de paraments verticals per mitjà de safates de polietilè d'alta densitat HDPE, que es poden encaixar les unes amb les altres i que s'ancoren directament a la façana en estructures lleugeres, regat superiorment mitjançant goteig.

Les safates disposen de compartiments on s'allotgen les plantes arbustives i el substrat. El disseny de la safata permet situar-la en múltiples inclinacions.



Figura 23: Mur vegetal del Westfield shopping centre de Londres [35]

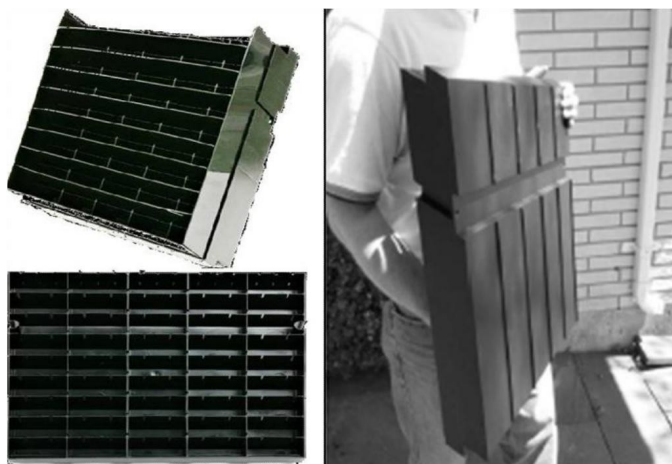


Figura 24: Panells del sistema ELT Green Living Wall Panel



Figura 26: Panell amb substrat i plantes [35]



Figura 25: Sistema de reg dels panells [35]

Sistema Green Wall Panels

Empresa: G-Sky

Web: www.gsky.com

Descripció: Es tracta d'un sistema que consisteix en una estructura lleugera d'acer inoxidable, ancorada a la paret (d'obra o de formigó), a sobre de la qual es penjen els plafons G-SKY, compostats per una carcassa quadrada de 28x28x7,6 cm, d'acer inoxidable en la que s'encaixa una funda de teixit no inflamable amb uns orificis circulars en una de les seves cares, a l'interior de la qual es diposita el substrat i les plantes, de caire arbustiu i limitades dimensions, que creixen horitzontalment a través dels orificis.

El sistema de reg, mitjançant canonades amb goters integrats, circula per sobre de cadascun dels plafons un cop estan penjats.



Figura 28: Façana vegetal a conecionari BMW/Mini a Langley, Columbia Britànica [37]



Figura 27: Instal·lació del sistema Green Wall Panels a l'aeroport internacional de Vancouver [36]



Figura 29: Panell tipus del sistema Green Wall Panels [38]

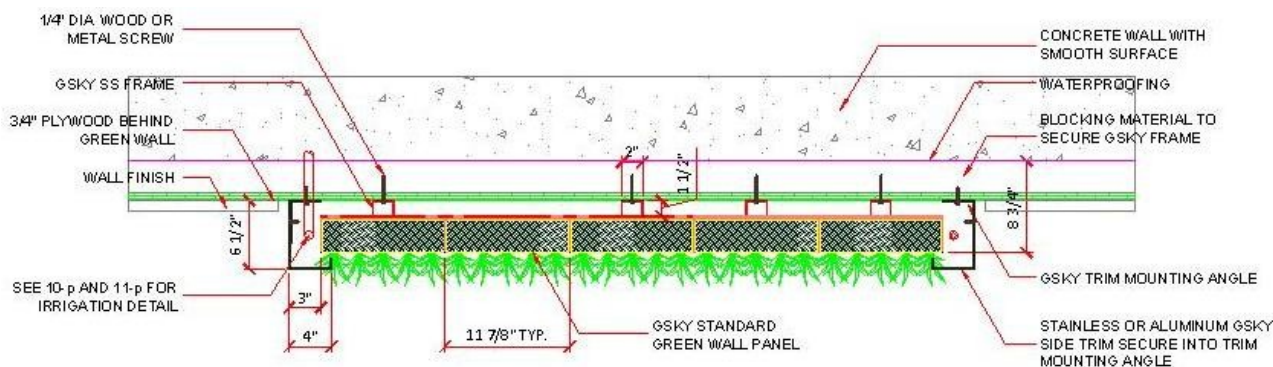


Figura 30: Secció longitudinal del sistema Green Wall Panels [39]

Sistema Green Wall System

Empresa/autors: Marie Clarke i Alan Conisbee

Web: [http://www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr04.php%20\[10\]](http://www.clarkeassociates.cc/index.php?PageName=gr04.php%20[10])

Descripció: Aquest sistema consisteix en una malla metàl·lica, en els forats de la qual s'allotjaran uns sacs perforables que contenen el substrat que permet el creixement de les plantes. El mur inclou un sistema de reg que proveeix les plantes d'aigua i nutrients, mantenint-les fresques i vives.



Figura 31: Façana vegetal del New Street Square a Londres [40]



Figura 32: Detall de la façana del New Street Square a Londres [40]



Figura 33: Mur vegetal del Paradise Park Children's Centre a Londres [41]

Parabienta Green Wall

Empresa: Shimizu Corp. - Minoru Industrial Co. - National University of Singapore (Centre for Total Building Performance)

Web: www.nus.edu.sg

Descripció: Estructura lleugera d'acer inoxidable que suporta uns plafons de 60x60x5cm, de substrat esponjós format per una barreja de sòls, el qual s'escalfa i es conforma per mitjà de vapor d'aigua. Aquest material presenta unes excel·lents propietats de retenció i drenatge de l'aigua, i diferents tipus de plantes poden créixer en aquesta base de cultiu prima i lleugera.



Figura 34: Estructura del sistema Parabienta i façana amb aquest acabat [42]

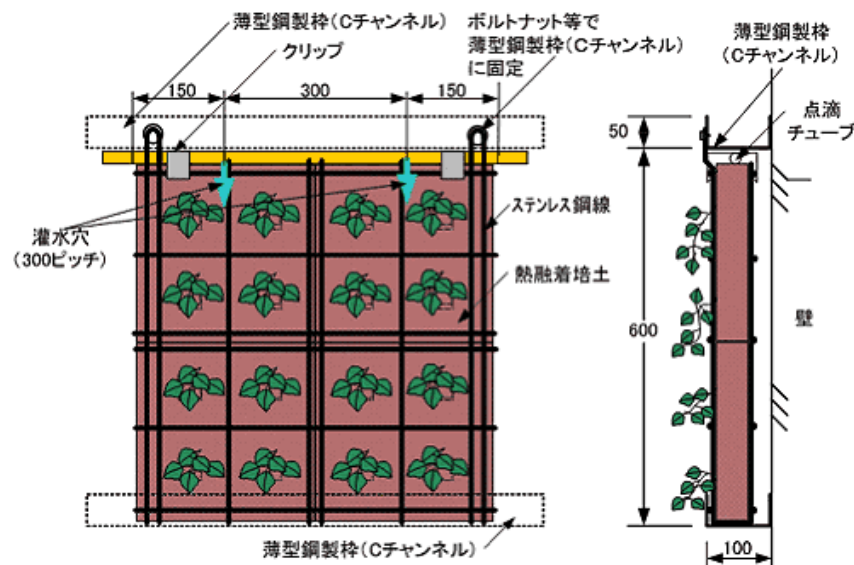


Figura 35: Esquema del sistema Parabienta [42]

4.1.2.2.b. Cortines vegetals

Sistema Greenscreen

Empresa: Green Screen

Web: www.greenscreen.com / www.prouriba.com

Descripció: Sistema d'enreixat tridimensional de filferro soldat d'acer galvanitzat, tot configurant diferents mòduls tipus plafons rectangulars plans i ondulats, per ancorar directament sobre la paret de façana o auto portants, enreixats columnars, o bé configurant formes diverses, dissenyades a mida.

L'estructura tridimensional de l'enreixat reforça l'estructura del sistema i permet establitzar el desenvolupament interior de les plantes enfiladisses.

Les plantes poden anar plantades directament al terra, a la base de l'enreixat, o bé en jardineres rectangulars i cilíndriques, preparades per instal·lar-hi el sistema de reg corresponent.

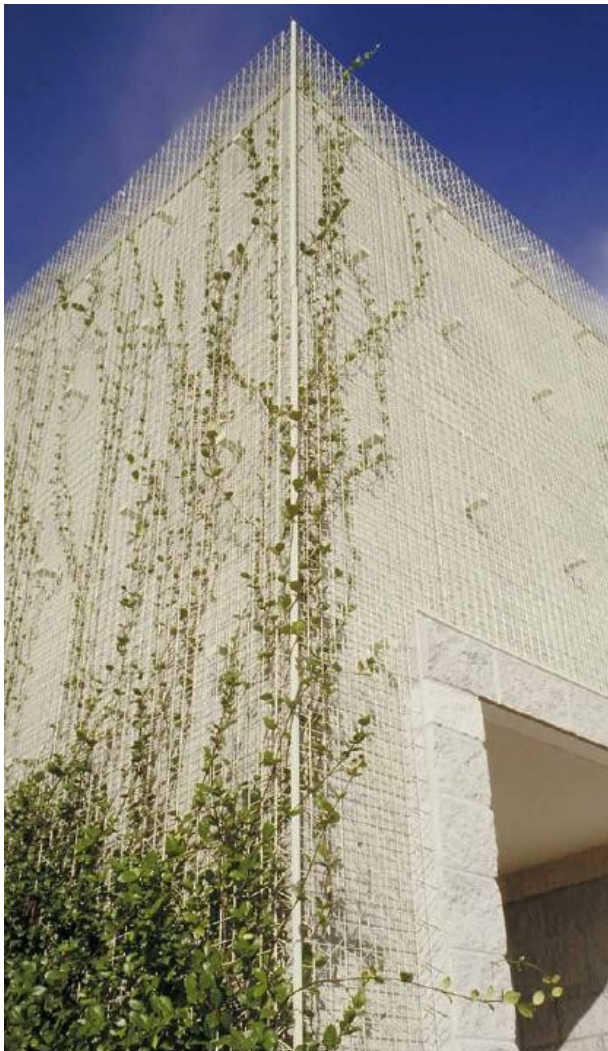


Figura 37: Façana del Marketplace de Oviedo, Florida (EEUU) [43]



Figura 36: Detall del coronament de façana del Marketplace de Oviedo, Florida (EEUU) [43]



Figura 38: Façana del Universal CityWalk de California (EEUU) [43]

Sistema Green Wall Container

Empresa: G-Sky

Web: www.gsky.com

Descripció: Sistema format per un mòdul constituït per un enreixat de petites dimensions integrat a una jardinera rectangular, construït amb perfils de xapa d'acer inoxidable.

Els mòduls s'ancoren a una estructura de perfils d'acer que suporta tant els mòduls com la reixa del passadís interior que permet l'accés a les jardineres per al seu manteniment.

L'estructura es fixa directament a la paret de façana. El sistema està preparat per al reg de les jardineres per mitjà de goters integrats.

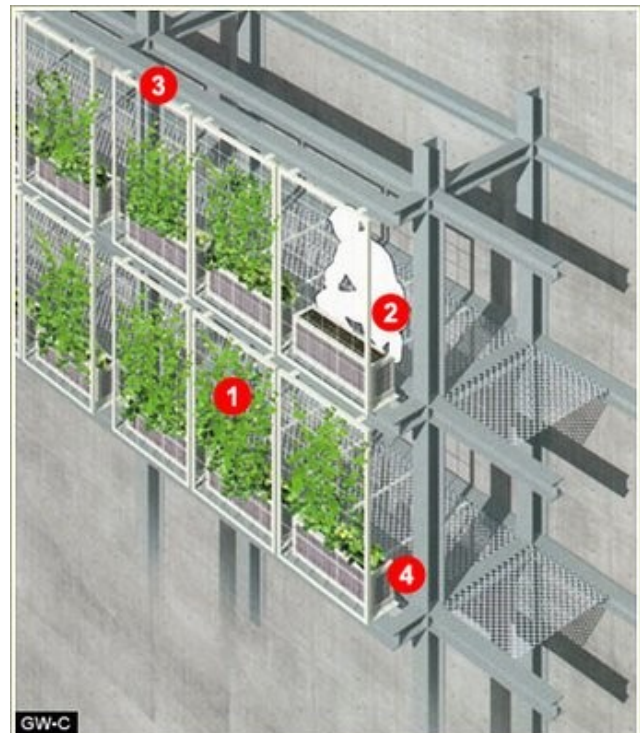


Figura 39: Esquema del sistema Green Wall Container [44]



Figura 40: Façana amb el sistema Green Wall Container i detall del creixement de les plantes [44]

FaçadeScape system. I – SYS Stainless Cables and Rods

Empresa: Carl Stahl DecorCable, Inc.

Web: www.decorcable.com / www.tenso.es

Descripció: Sistema de cables i barnilles d'acer inoxidable, amb totes les seves peces accessòries, per tal de poder vegetar les façanes d'edificis mitjançant plantes enfiladisses.

L'empresa proposa diferents solucions en funció del pes que haurà de suportar l'estructura. També diferencia dues disposicions, l'ortogonal, o bé formant rombes. Es diferencien els tipus d'ancoratges en funció del material de façana, per tal de garantir l'estabilitat i durabilitat del sistema.



Figura 42: Independence Visitor Center Wall Trellis a Philadelphia, Pensilvania (EEUU) [45]



Figura 41: Swiss Re Office Building a Munich, Alemanya [45]



Figura 43: Campus de la Universitat Tecnològica de Munich, Alemanya [45]

4.1.2.3. Beneficis

La vegetació col·locada en les façanes dels edificis té una sèrie de característiques que permeten millorar el comportament d'aquests i fan que millorin les condicions ambientals al seu voltant:

- Regula la temperatura (millora el "microclima"). Les plantes perden aigua cap al medi ambient mitjançant la evapotranspiració. En aquest canvi de fase s'utilitza el calor de l'aire de l'entorn, de forma que a més a més d'augmentar la humitat ambiental es redueix la temperatura de l'aire. En entorns càlids, la presència de vegetació pot arribar a fer baixar la temperatura exterior propera a la superfície de la façana de 1 a 5°C. Es calcula que una reducció de 5°C de la temperatura exterior adjacent podria suposar un estalvi del 50% en la refrigeració de l'edifici.
- Protecció enfront al soroll. Amb gruixos de vegetació suficients, les formacions o barreres vegetals poden tenir un cert efecte d'amortiment del soroll, actuant com pantalles acústiques. Estudis previs en façanes vegetades indiquen reduccions d'entre 2 a 5 dB, depenent del tipus de planta emprada.
- Millora de la qualitat de l'aire. Al realitzar la fotosíntesis, les plantes proporcionen O₂ i absorbeixen CO₂, renovant l'aire de l'entorn. Es calcula que una hectàrea de vegetació típica pot absorbir 7.500 kg de CO₂ cada any. Per un altre costat, la vegetació també actua sobre la contaminació, ja que en el substrat o sòl que la manté s'hi dipositen partícules i metalls pesats que son aprofitats o metabolitzats per la microflora del sòl (fongs i bacteris). Aquest mateix fenomen també es repeteix sobre les superfícies foliars de les plantes, on s'hi precipiten partícules que la planta absorbirà i fixarà en els seus teixits, emmagatzemant contaminants com el plom, el cadmi o altres materials pesats, que de una altra manera romandrien en suspensió a l'aire.
- Ventilació natural i protecció del vent. La presència de vegetació genera brises que refresquen l'ambient al voltant dels habitatges: al refrescar la temperatura es genera un flux d'aire, ja que el desequilibri entre petites masses d'aire a diferent temperatura, i per tant diferent densitat, genera aquesta circulació natural. D'altra banda, la vegetació (arbres, arbusts, etc.) actua com a barrera contra el vent en el cas d'orientacions molt exposades a vents forts. Es tracta d'una barrera porosa que redueix la velocitat del vent creant poques turbulències. Inclòs les plantes enfiladisses o vegetació propera a les parets redueixen la velocitat del vent en la proximitat dels murs.
- Protecció solar i aïllament tèrmic. Els elements vegetals poden actuar com proteccions contra els guanys excessius de calor provocats pels rajos solars, ja que la vegetació obstrueix, filtra i reflexa la radiació incident. La presència d'una barrera vegetal bloqueja la transmissió de radiació cap a l'interior però també cap a l'exterior, esdevenint una eina d'aïllament en potència.
- No afectació estructural. Encara es tendeix a percebre que la vegetació pot perjudicar les façanes, provocant problemes d'humitats, etc. No obstant això, moltes vegades es tracta d'una excusa per no admetre la poca voluntat de mantenir aquests sistemes, o de realitzar un bon disseny per tal d'incorporar plantes a l'edifici. Actualment prevalen més el factor econòmic dels projectes i la rapidesa d'execució.
- Millora estètica. En general, deixant de banda la varietat de gustos que hi pot haver, es pot admetre que, per a la majoria de persones, una façana vegetada resulta més estètica que una façana amb un acabat monocapa, o que qualsevol mitgera amb acabat de fàbrica.
- Hàbitat per a la fauna. La vegetació ofereix descans i aliment a insectes i aus que poden, com els humans, millorar la seva qualitat de vida tot i estar a la ciutat.

A continuació s'aprofundirà en els beneficis de les façanes vegetals sobre la biodiversitat en les zones urbanes, sobre la reducció del canvi climàtic i l'estètica dels edificis:

4.1.2.3.a. Beneficis sobre la biodiversitat

En àrees que presenten limitacions a l'hora de complir els requeriments de zones verdes que la planificació urbana requereix, les façanes vegetals suposen una solució elegant i pràctica al problema.

Els avantatges de les façanes vegetals sobre la biodiversitat de les zones urbanes són molts. Qualsevol planta enfiladissa pot suposar un hàbitat pels animals invertebrats, com aranyes o insectes, que a la seva vegada suposen aliment per a ocells i ratpenats. Les façanes vegetals aprofiten un espai que d'una altra manera estaria format per materials inerts, proveint una zona d'hàbitat considerable i utilitzant una petita part de terreny.

L'elecció de les plantes en una façana vegetal pot afectar a la biodiversitat de la mateixa. Per exemple, l'heura convencional (*Hedera helix*), a causa de la seva estructura ramificada, ofereix l'espai que els ocells necessiten per fer el seu niu o descansar. L'heura té una floració tardana i això suposa una font de nèctar per als insectes de temporada, i com si fos un arbre de fulla perenne, proveeix un bon hàbitat per als insectes en hibernació i àrees de descans per als ocells.

Les espècies de plantes que tenen una floració primerenca són igualment importants per als insectes com papallones i arnes, que surten del període de hibernació. La presència d'aquests invertebrats fa que les façanes vegetals resultin atractives per als ratpenats.

La majoria d'espècies que floreixen poden oferir una font de nèctar per als insectes, i es pot escollir entre una àmplia gamma d'espècies per a cobrir el període comprés entre els mesos d'abril i octubre. Les espècies que produeixen fruits ofereixen aliment als ocells durant la tardor.

Les possibilitats que tenen ocells i ratpenats de niar o de trobar espais per descansar poden ser augmentades utilitzant nius artificials, que són especialment beneficiosos després dels 5 primers anys de l'execució de la façana vegetal. Ubicar aquests nius en les façanes vegetals suposa un clar avantatge per a la vida salvatge a l'entorn urbà, ja que aquests espais són inaccessibles pels gats, que són el principal depredador dels ocells i altres animals voladors.

Les façanes vegetals son mencionades específicament en una sèrie de plans d'urbanització i edificació en diferents països. Per exemple, el pla d'acció per a la biodiversitat de Cadmen (Regne Unit) especifica l'ús de façanes vegetals per a promoure els hàbitats artificials en zones on hi ha poca massa de vegetació urbana.

4.1.2.3.b. Beneficis sobre la reducció del canvi climàtic

A l'estiu, les plantes enfiladisses poden reduir significativament les temperatures locals màximes d'un edifici per mitjà de l'ombreig de les parets. La fluctuació diària de la temperatura es redueix fins al 50%. Aquesta efectivitat en la refrigeració està relacionada principalment amb l'àrea total ombrejada i l'evapotranspiració, més que amb el gruix de massa vegetal. Juntament amb l'efecte de l'aïllament, les fluctuacions diürnes de la temperatura a la superfície de les façanes poden ser reduïdes d'entre 10°C i 60°C a entre 5°C i 30°C (Peck et al, 1999).^[46]

L'ús de façanes vegetals per a reduir l'escalfament dels edificis a causa de la radiació solar resulta més efectiu si aquestes façanes vegetals són col·locades en les façanes encarades al sud, ja que reben més llum solar al llarg de tot el dia, i en les façanes encarades al oest, ja que cap a la tarda reben una gran insolació.